

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-69075

(P2003-69075A)

(43) 公開日 平成15年3月7日 (2003.3.7)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テームト\* (参考)

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C 5 F 0 4 1

21/306

21/306

B 5 F 0 4 3

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-257306 (P2001-257306)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(22) 出願日 平成13年8月28日 (2001.8.28)

(72) 発明者 川田 康博

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA03 CA05 CA40 CA46 CA64

CA65 CA74

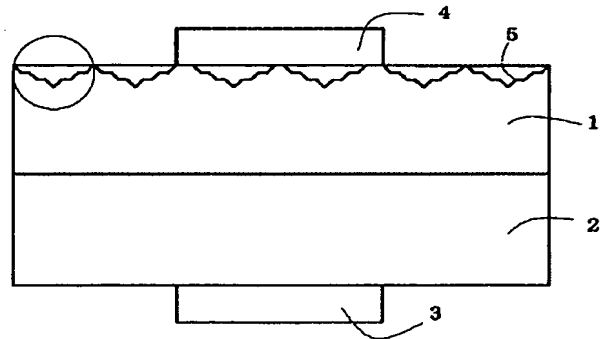
5F043 AA05 BB10 DD12 DD16 GG10

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体素子

(57) 【要約】

【目的】 窒化ガリウム系化合物半導体内部の光の多重反射により起こる干渉を抑えることにより、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の外部量子効率を向上させる。

【構成】 サファイア基板上に窒化ガリウム系化合物半導体を成長させ、サファイア基板を研磨又は剥離除去し、窒化ガリウム系化合物半導体の裏面がエッチングにより非鏡面とされている窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。サファイア基板を除去することにより、サファイアと窒化ガリウムの屈折率の違いによる界面での干渉が無くなり、かつ、非鏡面にすることによって表面で乱反射させることでダブルの効果で出力を向上させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化ガリウム系化合物半導体基板上に窒化ガリウム系化合物半導体が積層されてなる発光素子において、前記窒化ガリウム系化合物半導体基板の素子を積層する面に対向する面が凹凸を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体素子。

【請求項2】 前記凹凸がドライエッチング、及び／又は、ウェットエッチングにより形成されている請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

【請求項3】 前記凹凸が{11-20}面又は{11-20}面と(0001)面がステップ状に表れているピットである請求項1又は2に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

【請求項4】 前記窒化ガリウム系化合物半導体基板はn型不純物、及び／又は、p型不純物がドーパされている請求項1乃至3に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

【請求項5】 前記n型不純物が、Si、Ge、Sn、Sの少なくとも1を含む請求項4に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

【請求項6】 前記p型不純物が、Mg、Zn、Ca、Beの少なくとも1を含む請求項4に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明はサファイア基板上に一般式 $\text{In}_x\text{Al}_{1-y}\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x < 1$ ,  $0 \leq y < 1$ )で表される窒化ガリウム系化合物半導体が積層されてなる窒化ガリウム系化合物半導体素子からサファイア基板を除去した窒化ガリウム系化合物半導体素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】GaN、GaAlN、InGaN、InAlGaN等の窒化ガリウム系化合物半導体は直接遷移を有し、バンドギャップが1.95eV~6eVまで変化し、その発光色は紫外から赤色にまで及ぶため、発光ダイオード、レーザダイオード等、発光素子の材料として有望視されている。その窒化ガリウム系化合物半導体よりなる発光素子は、一般にMOCVD、MBE、HVPE法等の気相成長法を用いてサファイア基板上にn型及びp型、あるいはi型に成長して積層し、電極を形成すべき層から電極を取り出した後、チップ状としてリードフレームに固定し、最後にエポキシ等の樹脂で封止することによって得られる。

【0003】しかしながら、その窒化ガリウム系化合物半導体素子は、前記のようにサファイア基板の上に、窒化ガリウム系化合物半導体という全く異なる材料を積層するいわゆるヘテロエピタキシャル構造であるため、他のGaAs、GaP等、同一材料の上に積層される発光素子に比して、基板とエピタキシャル膜との屈折率の違いにより外部量子効率が悪くなるという欠点を有してい

る。具体的にはサファイア基板と窒化ガリウム系化合物半導体との屈折率の違い、および窒化ガリウム系化合物半導体素子とそれを封止する樹脂との屈折率の違いにより、窒化ガリウム系化合物半導体の発光がそれらの界面で多重反射されて干渉し、反射光は窒化ガリウム系化合物半導体内部で吸収されてしまい、発光を効率よく外部に取り出せないという問題がある。特に、屈折率の違いはフリップチップボンディングの場合に致命的でフリップチップボンディングにすると発光面積が増加するにもかかわらず、サファイア付だと発光効率が上がらない。この問題はサファイア上に窒化ガリウム系化合物半導体を厚く積層し、その後素子構造を積層し、サファイアを研磨・除去することで向上した。サファイアの研磨・除去は素子構造を積層する前でも良い。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】窒化ガリウム系化合物半導体基板と窒化ガリウム系化合物半導体素子、および封止樹脂との多重反射を抑制し、干渉をより少なくすることができれば、外部量子効率を向上させて、発光効率を向上させることができる。従って、本発明はこのような事情を鑑み成されたものであり、その目的とするところは、窒化ガリウム系化合物半導体内部の光の多重反射により起こる干渉を抑えることにより、窒化ガリウム系化合物半導体素子の外部量子効率を向上させることにある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】我々は窒化ガリウム系化合物半導体内部の多重反射を抑制し、外部量子効率を上げるため数々の実験を行ったところ、内部で反射する光を最上層の窒化ガリウム系化合物半導体の表面で乱反射させることにより、上記問題が解決できることを新たに見いだした。よって、窒化ガリウム系化合物半導体基板上に窒化ガリウム系化合物半導体が積層されてなる発光素子において、前記窒化ガリウム系化合物半導体基板の素子を積層する面に対向する面が凹凸を有することを特徴とする。これにより光取り出し面方向に放射された光の取り出し面における全反射が抑制され、光の取り出し効率がよくなる。また、本発明にかかる窒化ガリウム系化合物半導体素子は、前記凹凸がドライエッチング、及び／又は、ウェットエッチングにより形成されている。サファイア基板を研磨・除去してからエッチングするのであるが、サファイア基板と窒化ガリウム系化合物半導体との界面は応力・歪・転位等が存在し、他の面よりもエッチングレートが早い。特に転位密度が高く、結晶性が悪い部分はエッチングのレートが早いため、窒化ガリウム系化合物半導体基板の表面に凹凸が形成される。また、本発明にかかる窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、前記凹凸が{11-20}面又は{11-20}面と(0001)面がステップ状に表れているピットである。この形状は、ドライエッチングでも作製可能であ

3

るが、ウエットエッチングの方が作製しやすい。ドライエッチングの場合、RIE等条件にもよるであろうが、エッチング力が強すぎ、安定面・準安定面関係なく、エッチングしてしまう場合が多い。一方、ウエットエッチングはエッチング力が弱いため、安定面・準安定面に沿ってエッチングされる。もっと言うと、安定面はエッチングされにくく、準安定面は安定面に比べてエッチングされやすいため、準安定面が現れる。エッチング溶液で窒化ガリウム系化合物半導体素子进行处理すると、サファイア基板を研磨・除去した面のみが著しくエッチングされる。これはサファイア基板上に窒化ガリウム系化合物半導体は積層する際、格子定数の不整合により安定面である(0001)面と準安定面である{11-20}面とが同時に成長し、ある程度の膜厚まで成長すると、

(0001)面のみ成長すると考察できる。これらから勘案するとサファイア基板上への窒化ガリウム系化合物半導体の成長条件とエッチングの条件の組み合わせによっては凹凸の形状はいろいろでき、最適値を選択することができる。{11-20}面のみが連続的に現れるようにエッチングすることもできるし、{11-20}面がまばらに存在するようにもでき、もちろんサイズも好適値が選べる。{11-20}面と(0001)面がステップ状に表れているピットであってもよい。このように、単に表面を荒らし、粗面にし、凹凸をつけるのではなく、特定の面を出すことにより、指向性・視野角等様々な特性が向上する。また、本発明にかかる窒化ガリウム系化合物半導体素子の前記窒化ガリウム系化合物半導体基板はn型不純物、及び／又は、p型不純物がドーピングされている。このようにドーピングすることにより、基板に導電性を持たせることができ、裏面に電極を形成するなどデバイスの構造にバリエーションが増える。

【0006】また、本発明にかかる窒化ガリウム系化合物半導体発光素子における前記n型不純物が、Si、Ge、Sn、Sの少なくとも1を含む。周期律表におけるIV族、VI族元素を添加することによって窒化ガリウム系化合物半導体がn型化するためである。また、本発明にかかる窒化ガリウム系化合物半導体発光素子における前記p型不純物が、Mg、Zn、Ca、Beの少なくとも1を含む。周期律表におけるIIA族、IIB族元素を添加することによって窒化ガリウム系化合物半導体がp型化するためである。

【0007】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について詳細に説明する。

【0008】本発明における窒化ガリウム系化合物半導体の成長方法としては、基板1上に第1の窒化ガリウム系化合物半導体から成る核、又は層を成長させ、その上にハイドライド気相エピタキシャル成長法により第2の窒化ガリウム系化合物半導体と、第3の窒化ガリウム系化合物半導体とを成長させるものである。

4

【0009】本発明では、基板にC面、R面、及びA面のいずれかを主面とするサファイアやSiC(6H、4H、3C)、スピネル、ZnS、ZnO、GaAs、Si、又は窒化ガリウム系化合物半導体等を基板とする。

【0010】これらの基板は表面が平坦なものを使用するが、窒化ガリウム系化合物半導体から成る核、又は層を成長させることができれば、例えばエッチング等により細かい荒れを有するものや、基板に凹凸、斜面、階段形状を有するものであってもよい。

10 【0011】次にバッファ層(図示されていない。)を基板1上に成長させることにより、基板1との格子定数不整合を緩和させることができる。例えば、窒化ガリウムとサファイアとの格子不整合は約16%と非常に大きいので、表面モフォロジーの良好な結晶性を有する基板を得るのは困難であった。バッファ層にはこの格子定数の違いを緩和させる効果があり、具体例としては、AlN、GaN、AlGaN、InGaN、及びInAlGaNが挙げられる。キャリアガスに水素、原料ガスにはトリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、トリメチルインジウム等を用い、300℃以上900℃以下の温度、10オングストローム以上0.5μm以下の膜厚で成長させる。尚、このバッファ層は基板の種類等により省略することもできる。

【0012】次に、第1の窒化ガリウム系化合物半導体から成る核、又は層を成長させる。成長方法としては、特に限定されないが、結晶の核密度の均一性や配向特性、及び大きさ、層の厚みの制御にはMOCVD法を用いるのが好ましい。

30 【0013】第1の窒化ガリウム系化合物半導体としては核、又は薄膜から成る層など特に限定されないが、第1の窒化ガリウム系化合物半導体は第2の窒化ガリウム系化合物半導体を成長させるためにC軸配向特性の優れたものが好ましい。

【0014】第1の窒化ガリウム系化合物半導体の成長条件としては、キャリアガス、及び原料ガスはバッファ層と同様でもよく、キャリアガスには水素、原料ガスにはトリメチルガリウム等を用い、成長温度は900℃～1100℃でありバッファ層より高温で成長させ、核として成長させるものは途中で成長を止め核とし、層とするものは更に成長を続けることでミラーを形成させる。

【0015】第1の窒化ガリウム系化合物半導体は鏡面を有する層として成長させた場合の膜厚としては、500オングストローム～50μmであり、結晶欠陥を減らす効果を有する。

50 【0016】次に、第1の窒化ガリウム系化合物半導体上に、ハイドライド気相エピタキシャル成長(HVPE)法により第2の窒化ガリウム系化合物半導体と、第3の窒化ガリウム系化合物半導体とを成長させることにより窒化ガリウム系化合物半導体基板とする。ハライド

気相エビタキシャル成長法は、短時間で厚膜を成長させることができるため、窒化ガリウム系化合物半導体の厚膜成長や、異種基板を剥離した窒化ガリウム系化合物半導体の単体基板の形成に有効である。

【0017】以下にHVPE装置を用いた成長工程、及び成長条件を示す。

【0018】HVPE装置内に、Gaメタルを入れた石英ボートを設置し、さらに石英ボートから離れた位置に基板を設置する。次にGaメタルと反応させるハロゲンガスの供給管と、ハロゲンガス供給管とは別に、N源供給管を設ける。

【0019】ハロゲンガスとしてはHCl等があり、キャリアガスと共にハロゲンガス管より導入される。このハロゲンガスとGa等の金属が反応することにより3族元素のハロゲン化物を生成させ、さらに、N源供給管より流したアンモニアガスと反応することにより窒化ガリウム系化合物半導体を基板上に成長させる。

【0020】第2の窒化ガリウム系化合物半導体の成長条件としては、成長速度が0.5mm/hour以上であり、より好ましくは1~10mm/hourである。

【0021】また、第2の窒化ガリウム系化合物半導体の膜厚としては特に限定されないが、好ましくは300μm以上であり、常圧又は微減圧で成長させる。300μm以上無ければ、サファイア基板等を研磨・除去することが難しいからである。

【0022】第2の窒化ガリウム系化合物半導体としては、アンドープのGaN、n型不純物としてSi、Ge、Sn及びS等の少なくとも1種類をドーピングしたGaN、又はp型不純物をドーピングしたGaN等を用いることができる。次に第2の窒化ガリウム系化合物半導体を成長後、この上に第3の窒化ガリウム系化合物半導体を以下の条件で成長させる。

【0023】第3の窒化ガリウム系化合物半導体は第2の窒化ガリウム系化合物半導体と同温、又はそれ以上の温度で成長させるのが好ましく、1000℃以上とする。ただし、第3の窒化ガリウム系化合物半導体と第2の窒化ガリウム系化合物半導体との温度差が大きければ基板に反りが発生するため温度差が少ない方が好ましい。また、第3の窒化ガリウム系化合物半導体4の膜厚としては、最上面が鏡面になれば特に限定されず30μm以上であればよい。そのため、第3の窒化ガリウム系化合物半導体は膜厚を30μm程度の成長が可能な気相成長法であればMOCVD法やMBE法等でも行うことができる。

【0024】第3の窒化ガリウム系化合物半導体としては、例えば、アンドープGaNや、Si等のn型不純物、又は、Mg等のp型不純物をドーピングしたGaNを用いることができる。

【0025】第2の窒化ガリウム系化合物半導体、及び第3の窒化ガリウム系化合物半導体の組成式としては、

特に限定されず、一般式 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y < 1$ )によって表すことができる。

【0026】但し、これらは互いに異なる組成であってもよく、アンドープ、n型不純物ドーピング、及び/又はp型不純物をドーピングさせた窒化ガリウム系化合物半導体でもよい。また、n型不純物としては、Si、Ge、及びS等であり、p型不純物としてはMg、Be、Cr、Mn、Ca、Zn等が挙げられる。

【0027】上記の成長方法により得られた窒化ガリウム系化合物基板は、最上面が平坦であり、且つ鏡面となる低欠陥部分を広範囲で有する窒化ガリウム系化合物半導体基板と成る。

【0028】なお、本発明による素子は窒化ガリウム系化合物半導体を用いたものであれば発光素子でも電子デバイスでもよい。

【0029】本発明は上記の成長方法により得られた窒化ガリウム系化合物基板をサファイア基板から研磨・除去した後にエッチングするのであるが、順序は①発光素子をエビタキシャル成長させた後、サファイア基板を除去し、エッチングしても良いし、②サファイア基板を除去して、発光素子をエビタキシャル成長させた後、エッチングしても良いし、③サファイア基板を除去して、エッチングした後に、発光素子をエビタキシャル成長してもよい。

【0030】これらの図に示すように窒化ガリウム系化合物半導体の裏面を非鏡面、即ち微細な凹凸が形成された状態とするには、成長後窒化ガリウム系化合物半導体基板を化学的または物理的方法によって非鏡面とする方法とがある。方法は、鏡面を有する裏面の窒化ガリウム系化合物半導体表面をエッチングするか、または研磨することにより、微細な凹凸を設けて非鏡面とする方法である。エッチングには例えばリン酸+硫酸の混酸を用いるウェットエッチングと、RIE（反応性イオンエッチング）等の装置を用いるドライエッチングとの二種類の方法があるがいずれの方法でもよい。研磨は適当な研磨剤を選択することにより、モース硬度がほぼ9と非常に硬い窒化ガリウム系化合物半導体でも研磨してその表面を非鏡面とすることができる。

【0031】本発明の効果をj得るにはウェットエッチングが最も適しており、次がドライエッチング、最後に研磨の順である。どの方法を用いるにしても、前述したようにサファイア基板を研磨・除去してからエッチングするのであるが、サファイア基板と窒化ガリウム系化合物半導体との界面は応力・歪・転位等が存在し、他の面よりもエッチングレートが早い。特に転位密度が高く、結晶性が悪い部分はエッチングのレートが早いため、窒化ガリウム系化合物半導体基板の表面に凹凸が形成される。また、本発明にかかる窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、前記凹凸が{11-20}面又は{11-

20} 面と(0001)面がステップ状に表れているピットである。この形状は、ドライエッチングや研磨でも作製可能であるが、ウェットエッチングの方が作製しやすい。ドライエッチングの場合、RIE等条件にもよるであろうが、エッチング力が強すぎ、安定面・準安定面関係なく、エッチングしてしまう場合が多い。また、研磨は研磨剤の粒子や硬度等の選択を誤れば、単に窒化ガリウム系化合物半導体基板の裏面を粗面にするに終わってしまい、{11-20}面、又は{11-20}面と(0001)面がステップ状に表れない。単なる粗面でも効果はあるが上記の特定面からなるピットを形成するとさらに効果が大きい。一方、ウェットエッチングはエッチング力が弱いため、安定面・準安定面に沿ってエッチングされる。もっと言うと、安定面はエッチングされにくく、準安定面は安定面に比べてエッチングされやすいため、準安定面が現れる。エッチング溶液で窒化ガリウム系化合物半導体素子进行处理すると、サファイア基板を研磨・除去した面のみが著しくエッチングされる。これはサファイア基板上に窒化ガリウム系化合物半導体は積層する際、格子定数の不整合により安定面である(0001)面と準安定面である{11-20}面とが同時に成長し、ある程度の膜厚まで成長すると、(0001)面のみ成長すると考察できる。これらから勘案するとサファイア基板上への窒化ガリウム系化合物半導体の成長条件とエッチングの条件の組み合わせによっては凹凸の形状はいろいろでき、最適値を選択することができる。{11-20}面のみが連続的に現れるようにエッチングすることもできるし、{11-20}面がまばらに存在するようにもでき、もちろんサイズも好適値が選べる。{11-20}面と(0001)面がステップ状に表れているピットであってもよい。このように、単に表面を荒らし、粗面にし、凹凸をつけるのではなく、特定の面を出すことにより、指向性・視野角等様々な特性が向上する。

#### 【0032】

【実施例】以下、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【実施例1】図1に示すように、基板1としてC面を主面、オリフラ面をA面とするサファイア基板を用い、MOCVD装置にセットし、温度1050℃で10分間のサーマルクリーニングを行い水分や表面の付着物を除去した。

【0033】次に、温度を510℃にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとトリメチルガリウムを用い、GaNより成るバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させた。

【0034】その後、第1の窒化ガリウム系化合物半導体としてGaNから成り平坦性を有する層を成長温度1050℃で膜厚20μmで形成した。本実施例では、成長時のキャリアガスとして水素を20.5L/分、原料

ガスとしてアンモニアを5L/分、トリメチルガリウムを25cc/分間、流した。

【0035】第1の窒化ガリウム系化合物半導体を成長後、ハイドライド気相エピタキシャル成長装置にセットし、Gaメタルを石英ボートに用意し、ハロゲンガスにHClガスを用いることによりGaCl<sub>3</sub>を生成し、次に、Nガスであるアンモニアガスと反応させ、アンドープGaNよりなる第2の窒化ガリウム系化合物半導体3を成長させた。

10 【0036】第2の窒化ガリウム系化合物半導体の成長温度としては1000℃であり、成長速度を1mm/hourとして、膜厚300μmで成長させた。この平面写真を図3に示した。次に、第2の窒化ガリウム系化合物半導体上に、第3の窒化ガリウム系化合物半導体をハイドライド気相エピタキシャル成長装置において成長させた。

【0037】この時の成長条件としては、成長温度を第2の窒化ガリウム系化合物半導体3と同温とし、第3の窒化ガリウム系化合物半導体4の成長速度を50μm/hourで膜厚は50μmで成長させた。平坦性を有し鏡面である平面写真を図4に示した。

【0038】以上により得られた第3の窒化ガリウム系化合物半導体4の表面は平坦かつ鏡面となり、図5に示すようにCL観察によると貫通転位密度は約 $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ であり、低欠陥である窒化ガリウム系化合物半導体基板を提供することができる。上記方法によって得られた窒化ガリウム系化合物半導体基板1をMOVPEの反応容器内にセットし、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行

30 (バッファ層2) 続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、基板1上にGaNよりなるバッファ層2を約100オングストロームの膜厚で成長させる。

(アンドープGaN層3) バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層3を1.5μmの膜厚で成長させる。

(n型コンタクト層4) 続いて1050℃で、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるn型コンタクト層4を2.265μmの膜厚で成長させる。

(n型第1多層膜層5) 次にシランガスのみを止め、1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaNからなる下層5aを2000オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加しSiを $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNからな

る中間層5bを300オングストロームの膜厚で成長させ、更に続いてシランガスのみを止め、同温度にてアンドープGaNからなる上層5cを50オングストロームの膜厚で成長させ、3層からなる総膜厚2350オングストロームの第1多層膜層5を成長させる。

(n型第2多層膜層6) 次に、同様の温度で、アンドープGaNよりなる第4の窒化物半導体層を40オングストローム成長させ、次に温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープIn<sub>0.13</sub>Ga<sub>0.87</sub>Nよりなる第3の窒化物半導体層を20オングストローム成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第4+第3の順で交互に10層ずつ積層させ、最後にGaNよりなる第4の窒化物半導体層を40オングストローム成長させた超格子構造の多層膜よりなるn型第2多層膜層6を640オングストロームの膜厚で成長させる。

(活性層7) 次に、アンドープGaNよりなる障壁層を200オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープIn<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を5層、井戸層を4層、交互に積層して、総膜厚1120オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。

(中濃度ドーパの多層膜p型クラッド層8) 次に、温度1050℃でTMG、TMA、アンモニア、Cp2Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーパしたp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニア、Cp2Mgを用いMgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーパしたIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nよりなる第2の窒化物半導体層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第1+第2の順で交互に5層ずつ積層し、最後に第1の窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させた超格子構造の多層膜よりなるp側多層膜クラッド層8を365オングストロームの膜厚で成長させる。

(低濃度ドーパのp型低濃度ドーパ層9) 続いて、1050℃で、TMG、アンモニアを用い、アンドープのGaNよりなるp型低濃度ドーパ層9を2000オングストロームの膜厚で成長させる。この低濃度ドーパ層9は、成長時はアンドープとして成長させるが、中濃度ドーパの多層膜p型クラッド層8にドーパされているMgが、低濃度ドーパ層9を成長する間に拡散し、さらに下記の高濃度ドーパのp型コンタクト層10を成長させる際にMgが拡散し、低濃度ドーパ層9はp型を示す。

【0039】この低濃度ドーパ層9のMg濃度は、最も濃度が低い部分では、 $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ となる。また低濃度ドーパ層9のMg濃度の変化は、図2に示すよう

に、p型クラッド層8に接している部分ではp型クラッド層のMg濃度とほぼ同様の値を示すが、p型クラッド層8から離れるに従い徐々に減少し、p型コンタクト層10と接近している付近(p型コンタクト層10を成長させる直前)でのMg濃度がほぼ最低値を示す。

【0040】(高濃度ドーパのp型コンタクト層10) 続いて、1050℃で、TMG、アンモニア、Cp2Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーパしたGaNよりなるp型コンタクト層10を1200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0041】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0042】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、サファイア基板を研磨・除去し、窒化ガリウム系化合物半導体基板の裏面側をエッチングする。

(窒化ガリウム系化合物半導体基板のエッチング処理) リン酸+硫酸の混酸を使用する。リン酸：硫酸=(1.7:5.9)のモル比で混合する。リン酸は8.5mol/l、硫酸は9.8mol/lの濃度のものを使用し、15分間エッチング処理すると(11-20)面と(0001)面がステップ状に現れる10μm幅のピットができる。

【0043】エッチング後、最上層にあるp型コンタクト層10のほぼ全面に膜厚200オングストロームのNiとAuを含む透光性のp電極11と、そのp電極10の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極12を0.5μmの膜厚で形成する。一方、エッチングにより露出させたn型コンタクト層4の表面にはWとAlを含むn電極12を形成してLED素子とした。

【0044】このLED素子は順方向電流20mAにおいて、520nmの純緑色発光を示した。

【0045】[実施例2] 実施例1において、窒化ガリウム系化合物半導体基板のエッチング処理をドライエッチングで行った以外は同様に作製した。特性もほぼ同程度であった。

[実施例3] 実施例1において、窒化ガリウム系化合物半導体基板のエッチング処理を研磨で行った以外は同様に作製した。研磨に使用する定盤に錫、錫鉛、樹脂錫、樹脂銅等を使用し、研磨剤にダイヤモンドを使用した。特性としては実施例1とほぼ同程度であった。

【0046】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体素子はその裏面を特定形状とすることにより、窒化ガリウム系化合物半導体層内の多重反射による光の干渉を抑えることができる。従って、窒化ガリウム系化合物半導体の発光を有効に外部に取り出すことができ、発光素子の外部量子効率が向上する。また、発光スペクトルに、目的とする発光ピーク以外の干

11

渉によるピークが出現してこないため、窒化ガリウム系化合物半導体を用いて青色発光ダイオードを作製した場合にその色純度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

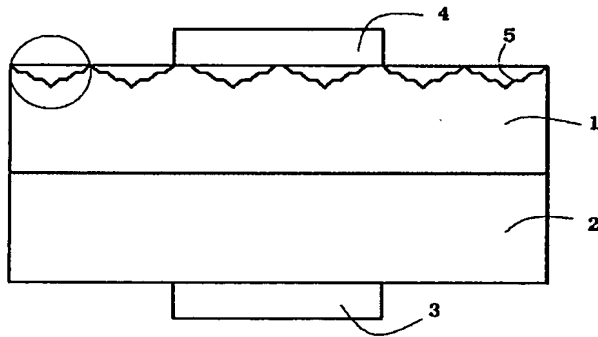
【図1】本発明の一実施の形態を示す窒化ガリウム系化合物半導体の模式断面図である。

【図2】本発明の一実施の形態を示す窒化ガリウム系化合物半導体の部分斜視図である。

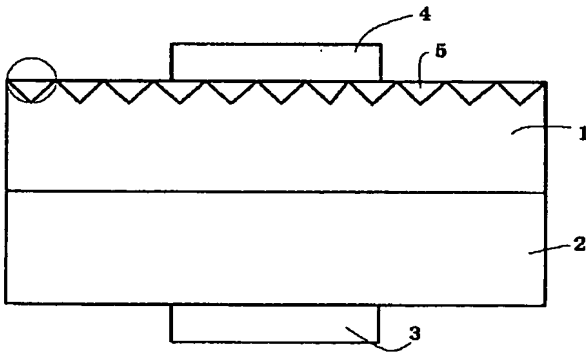
【図3】本発明の一実施の形態を示す窒化ガリウム系化合物半導体の模式断面図である。

【図4】本発明の一実施の形態を示す窒化ガリウム系化合物半導体の部分斜視図である。

【図1】



【図3】



12

【図5】本発明の一実施の形態を示す窒化ガリウム系化合物半導体のピット部分の拡大写真である。

【図6】本発明の一実施の形態を示す窒化ガリウム系化合物半導体のピット部分の拡大写真である。

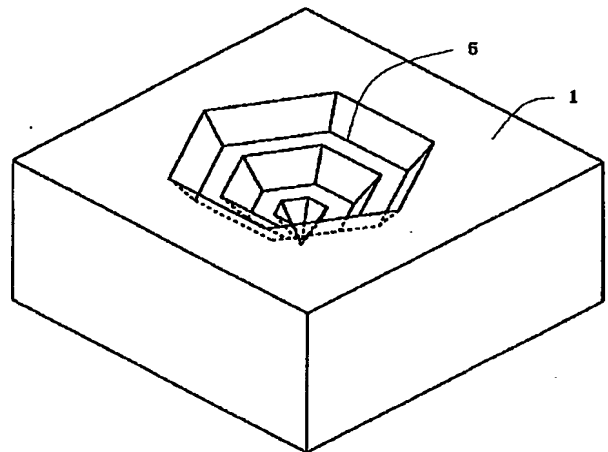
【図7】本発明の一実施の形態を示す窒化ガリウム系化合物半導体のピット部分の拡大写真である。

【符号の簡単な説明】

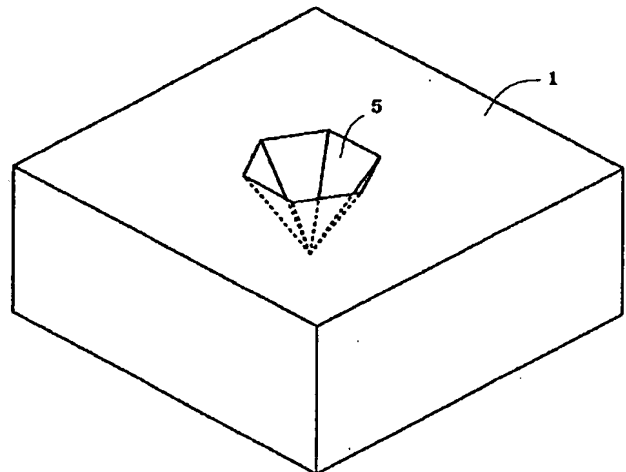
- 1・・・基板
- 2・・・エピ部
- 3・・・電極
- 4・・・電極
- 5・・・ピット

10

【図2】



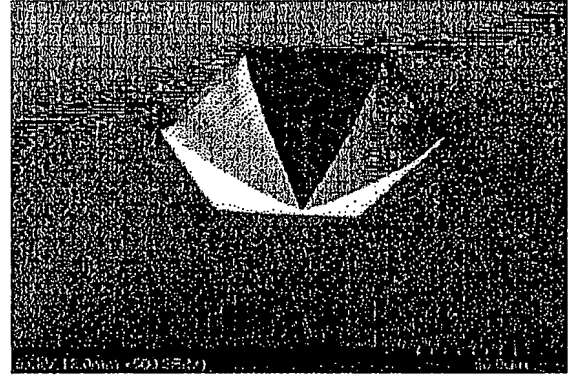
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record.**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**